

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS






**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

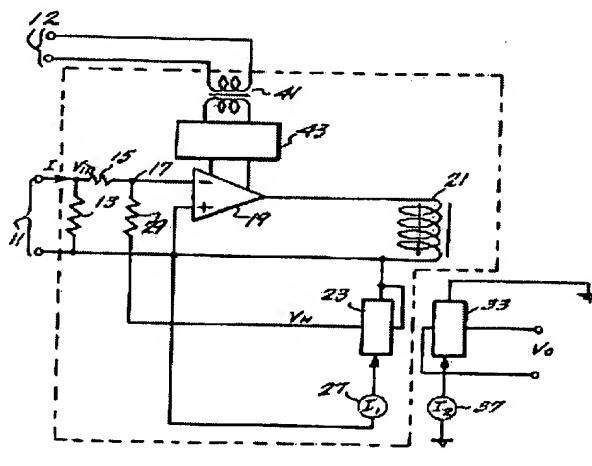
## Variable gain electronic current transformer

**Patent number:** DE2549315  
**Publication date:** 1976-10-07  
**Inventor:** MILKOVIC MIRAN  
**Applicant:** GEN ELECTRIC  
**Classification:**  
 - international: G01R19/00; G01R11/00; H03G3/00  
 - european: G01R19/10, G01R21/08  
**Application number:** DE19752549315 19751104  
**Priority number(s):** US19740521300 19741106

Also published as:	
	US3921069 (A1)
	JP51069123 (A)
	GB1528984 (A)
	FR2290751 (A1)
	CH600347 (A5)

Abstract not available for DE2549315  
 Abstract of correspondent: **US3921069**

A variable gain electronic current transformer is disclosed which includes means for detecting the current flow into a power consuming system. An operational amplifier amplifies the detected current and the output of the operational amplifier is converted into a magnetic flux field which is directed onto one surface of a Hall effect element. A variable current source supplies current to a second orthogonal surface of the Hall effect element to thereby generate an output voltage which is directly proportional to the product of the output of the operational amplifier and the variable current source. This output voltage from the Hall effect element is coupled back to the input of the operational amplifier. A second Hall effect element is positioned in the flux field generated at the output of the operational amplifier and in addition has a second variable current source coupled to one surface thereof so that the output of the second Hall effect element is a voltage which is proportional to the product of the output of the operational amplifier and the second variable current source. Accordingly, the output voltage of the second Hall effect element is directly proportional to the product of the detected current and the output of the second current source and is inversely proportional to the output of the first variable current source to thereby provide a current transformer having a large dynamic range depending upon the variance of the outputs of the first and second variable current sources.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

51

Int. Cl. 2:

**G 01 R 19/00**

19

**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

G 01 R 11/00

H 03 G 3/00

**DEUTSCHES**



**PATENTAMT**

Behördeneigentlich

11

**Offenlegungsschrift**

**25 49 315**

21

Aktenzeichen:

P 25 49 315.6

22

Anmeldetag:

4. 11. 75

43

Offenlegungstag:

7. 10. 76

30

Unionspriorität:

32 33 31

6. 11. 74 USA 521300

54

Bezeichnung:

Elektronischer Stromtransformator mit variablem Verstärkungsgrad und Gerät zur Messung aktiver elektrischer Energie mit einem solchen Transformator

71

Anmelder:

General Electric Co., Schenectady, N.Y. (V.St.A.)

74

Vertreter:

Schüler, H., Dr. rer. nat., Pat.-Anw., 6000 Frankfurt

72

Erfinder:

Milkovic, Miran, Scotia, N.Y. (V.St.A.)

Recherchenantrag gem. § 28 a PatG ist gestellt

DT 25 49 315 A 1

DT 25 49 315 A 1

Dr. rer. nat. Horst Schüler  
PATENTANWALT

2549315  
6 Frankfurt/Main 1, 3. Nov. 1975  
Niddastraße 52 WK/hö  
Telefon (0611) 237220  
Telex: 04-16759 mapat d  
Postscheck-Konto: 2824 20-602 Frankfurt/M.  
Bankkonto: 225/0389  
Deutsche Bank AG, Frankfurt/M.

3757-5D-5053

GENERAL ELECTRIC COMPANY  
1 River Road  
SCHENECTADY, N.Y./U.S.A.

---

Elektronischer Stromtransformator mit variablem Verstärkungs-  
grad und Gerät zur Messung aktiver elektrischer Energie mit  
einem solchen Transformator

---

Die Erfindung betrifft Stromtransformatoren, und insbesondere be-  
trifft sie elektronische Stromtransformatoren mit variablem Ver-  
stärkungsgrad.

Bei der Messung elektrischer Energie, wie beispielsweise der in  
Haushalten und Industrieanlagen fließenden Energie, wurden zahl-  
reiche Anstrengungen unternommen, um eine zuverlässige und wirk-  
same und doch wirtschaftliche Einrichtung zur Messung und Auf-  
zeichnung der verbrauchten elektrischen Energie zu schaffen. Bei-  
spiele für neuere Entwicklungen in der Technik der Messung  
elektrischer Energie sind in den US-Patentschriften 3 875 509  
und 3 875 508 enthalten, in denen elektronische Zähler mit Fest-  
körpereinrichtungen zur Messung der in einem Netz fließenden

609841/0848

elektrischen Energie offenbart werden. Diese Beschreibungen offenbaren ein Verfahren und ein Gerät zur Erfassung des Stromflusses durch mindestens eine Leitung und der Spannung einer Leitung, wobei dann diese Parameter in richtiger Weise multipliziert und in ein Impulsfolgesignal umgewandelt werden, welche in einem Anzeigemechanismus gezählt werden, um eine Anzeige der verbrauchten elektrischen Energie zu erhalten. Diese Zähler für elektrische Energie mit Festkörpereinrichtungen können jedoch verbessert werden, da ihr dynamischer Bereich begrenzt ist und auch das Signal-Rauschverhältnis verbessert werden könnte, um einen genaueren Zähler zur Zählung in einem weiten Bereich der Leistung zu erhalten. Die genaue Erfassung der Wechselströme durch Verwendung konventioneller Stromtransformatoren war nicht einfach wegen des relativ großen dynamischen Strombereichs, der sich in industriellen und Haushaltsnetzsystem ergibt. So sind die gegenwärtig vorhandenen Stromtransformatoren, welche in der Lage sind, Wechselströme über einem großen dynamischen Bereich zu transformieren, kostspielig und groß und haben sich daher als sehr unwirtschaftlich erwiesen. Es wurde daher erwünscht, einen einfachen, wirtschaftlichen, variablen Stromtransformator zu schaffen, der in einem relativ kleinen Behälter untergebracht werden kann und zur Transformation von Wechselströmen über einem ausgedehnten dynamischen Bereich verwendet werden kann.

Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen elektronischen Stromtransformator mit variablem Verstärkungsgrad zur Umwandlung von Wechselströmen über einem großen dynamischen Bereich zu schaffen, besonders zur Verwendung in Kilowattstundenzählern.

Demgemäß bezieht sich die vorliegende Erfindung auf einen elektronischen Stromtransformator mit variablem Verstärkungsgrad, welcher Einrichtungen als Detektor oder Meßfühler für die Erfassung des Stromflusses durch eine Schaltung enthält. Der durch Detektor oder Meßfühler erfaßte Strom wird mit einem Rechenverstärker verstärkt und in ein Flußfeld umgewandelt, das auf eine Oberfläche einer Halleffekt-Einrichtung gerichtet ist. Eine erste

Stromquelle leitet einen festen oder variablen Strom durch eine zweite orthogonale Oberfläche der Halleffekteinrichtung, so daß das Halleffekt-Bauelement eine Ausgangsspannung liefert, welche proportional dem Produkt des Ausgangssignals der ersten Stromquelle und dem am Ausgang des Rechenverstärkers erzeugten Flußfeld ist. Diese Spannung wird in einem Gegenkopplungsweg auf den Eingang des Rechenverstärkers zurückgekoppelt. Ebenfalls im Flußfeld am Ausgang des Rechenverstärkers ist eine zweite ausgangseitige Halleffekteinrichtung angeordnet, welche von der als Stromdetektor wirkenden Einrichtung und von der ersten Halleffekteinrichtung isoliert ist. Eine zweite feste oder variable Stromquelle liefert einen Strom, welcher durch eine Oberfläche der Halleffekteinrichtung geleitet wird, die orthogonal ist zu derjenigen Oberfläche, durch welche der magnetische Fluß gerichtet ist. Diese Halleffekteinrichtung erzeugt eine Ausgangsspannung, welche direkt proportional ist dem erfaßten Strom und kann zusätzlich hierzu variabel gemacht werden, indem entweder die erste oder die zweite oder beide Stromquellen variabel gemacht werden. Auf diese Weise kann ein weiter dynamischer Bereich erzielt werden, indem entweder eine oder beide der variablen Stromquellen variiert werden, welche an die entsprechenden Halleffekteinrichtungen gekoppelt sind.

Nachstehend wird noch beschrieben, in welcher Weise ein solcher elektronischer Stromtransformator mit variablem Verstärkungsgrad in ein Gerät zur Messung aktiver elektrischer Energie integriert ist (ein Kilowattstunden-Zähler).

Weitere Aufgaben, Merkmale und Vorteil der vorliegenden Erfindung sind ersichtlich aus der nachstehenden Beschreibung der bevorzugten Ausführungsform im Zusammenhang mit den Abbildungen.

Figur 1 ist eine Schaltzeichnung des elektronischen Stromtransformators mit variablem Verstärkungsgrad als Ausführungsform der Erfindung.



Figur 2 ist eine vereinfachte perspektivische Ansicht eines Paares von Halleffekteinrichtungen mit einer Einrichtung zur Erzeugung eines Magnetflußfeldes zum Durchgang durch diese Einrichtungen.

Figur 3 ist eine Schaltzeichnung eines elektronischen Energie-(kWh)-Zählers unter Verwendung des elektronischen Stromtransformators mit variablem Verstärkungsgrad nach der Erfindung.

Es folgt nachstehend eine ausführliche Beschreibung der bevorzugten Ausführungsform. Figur 1 zeigt die bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen elektronischen Stromtransformators mit variablem Verstärkungsgrad. Die Eingangsanschlüsse 11 sind in Reihe mit einer Leitung oder einem Draht einer Leistung verbrauchenden Schaltung verbunden, beispielsweise den Eingangskreisen zu einer Fabrikationsstätte oder zu einem Haushalt. Eine besonders wichtige Anwendung des elektronischen Stromtransformators mit variablem Verstärkungsgrad besteht in der Einfügung desselben in einem Kilowattstunden-Zähler, welcher die von einem solchen Netz verbrauchte Leistung oder allgemeiner die von einem Leistung verbrauchenden System verbrauchte Leistung mißt. Andere Anwendungen sollen jedoch ebenfalls im Umfang der Erfindung enthalten sein. Der Stromfluß  $I$  in dem Leistung verbrauchenden System wird durch einen Widerstand 13 erfaßt und ergibt eine Spannung  $V_{in}$  über dem Widerstand 13. Diese Spannung erzeugt einen Stromfluß  $V_{in}/R_{13}$  in dem Summierungspunkt 17 eines Rechenverstärkers 29 mit konventionellem Aufbau. Wie bekannt, ist die Spannung am Summierungspunkt 17 nahezu null, wenn der Verstärkungsfaktor des Rechenverstärkers 19 groß ist, und demgemäß liegt der Punkt 17 auf virtuellem Erdpotential. Der Verstärker 19 besitzt einen Ausgang, der mit einer geeigneten Einrichtung zur Erzeugung eines Flusses verbunden ist, beispielsweise einer Spule 21, die um einen ferromagnetischen Stab mit einem relativ niedrigen Reluktanzweg für den erzeugten Fluß gewickelt ist. Das entgegengesetzte Ende der Spule 21 ist mit dem nicht-umkehrenden Eingangsanschluß des Rechenverstärkers 19 verbunden. Eine erste Halleffekteinrichtung 23 ist so ange-

ordnet, daß eine Oberfläche derselben praktisch senkrecht zur Richtung des von der Spule 21 erzeugten Flußfeldes ausgerichtet ist. Halleffekteinrichtungen sind an sich bekannt gemäß der Beschreibung der US-Patentschriften 3 317 835, 3 328 689 und 3 343 084. Demgemäß wird der bestimmte Aufbau und die physikalische Arbeitsweise von Halleffekteinrichtungen hier nicht im einzelnen beschrieben.

Es wird Bezug genommen auf die Figur 2. Ein Paar von Halleffektelementen 23 und 33 sind zwischen die jeweiligen Enden eines ferromagnetischen Stabes 24 mit bogenförmiger Gestalt angeordnet. Eine Spule 21 ist um den ferromagnetischen Stab 24 so gewickelt, daß ein Flußfeld B praktisch senkrecht in die obere Oberfläche und aus der unteren Oberfläche jedes der Halleffektelemente 23 und 33 gerichtet ist. Gleichzeitig wird ein Strom  $I_1$  (von einer Quelle 27) durch das Halleffektelement 23 praktisch senkrecht zu derjenigen Richtung gerichtet, in welcher ihn das magnetische Flußfeld B durchsetzt. Wie bekannt, wird eine Spannung über einem dritten Paar von parallelen Oberflächen orthogonal zu den anderen Oberflächen erzeugt, wenn ein magnetisches Flußfeld auf eine Oberfläche einer Halleffekteinrichtung gerichtet wird und Strom durch eine hierzu senkrechte Oberfläche gerichtet wird. Diese Spannung ist dann ein Produkt des Flußfeldes und des Stroms, welche durch das Halleffektelement gehen. Diese Beziehung kann durch die folgende Gleichung ausgedrückt werden:

$$(1) \quad V_h = k_1 I_1 B$$

Hierin bedeutet B die durch das Halleffektelement 23 fließende Flußdichte,  $I_1$  ist der Strom, welcher durch das Halleffektelement in einer Richtung orthogonal zum Flußfeld geleitet wird und  $V_h$  ist die Ausgangsspannung, welche durch den Durchgang des Flußfeldes und des Stroms durch das Halleffektelement 23 erzeugt wird.

Es wird erneut Bezug genommen auf die Figur 1, welche einen ersten variablen Stromgenerator 27 zur Erzeugung einer festen oder variablen Stromstärke zeigt, welche durch das Halleffektelement 23

in einer Richtung praktisch senkrecht zu der Richtung ausgerichtet ist, in welcher das magnetische Feld das Halleffektelement durchsetzt. Eine Ausgangsspannung  $V_H$  wird dadurch erzeugt, welche proportional ist dem Produkt der Amplitude des Stroms  $I_1$ , der in der ersten Stromquelle 27 erzeugt wird, und der von der Spule 21 erzeugten Flußdichte  $B$ . Da jedoch die von der Spule 21 erzeugte Flußdichte proportional dem durch sie fließenden Strom ist, ist ersichtlich, daß die Spannung  $V_H$  proportional dem durch die Spule 21 vom Ausgang des Rechenverstärkers 19 fließenden Strom und dem von der ersten Stromquelle 27 erzeugten Strom  $I_1$  ist. Diese Spannung wird auf den Summierungspunkt 17 durch den Widerstand 29 zurückgekoppelt. Da die Spannung am Summierungspunkt 17 etwa auf 0 Volt ist und die Eingangsimpedanz zum Rechenverstärker praktisch unendlich groß ist, drückt die folgende Gleichung die Summierung der Ströme am Summierungspunkt 17 aus:

$$(2) \quad \frac{V_{in}}{R_{15}} - \frac{V_H}{R_{29}} = 0$$

Man wird sich erinnern, daß  $V_{in} = IR_{15}$  ist und die Gleichungen (1) und (2) lassen sich wie folgt anders ausdrücken:

$$(3) \quad V_H = V_{in} \frac{R_{29}}{R_{15}} = k_1 B I_1$$

Durch Auflösung der Gleichung (3) für die Größe  $B$  erhält man die folgende Beziehung:

$$(4) \quad B = (V_{in} R_{29} / R_{15}) \times 1 / k_1 I_1 = (I R_{13} R_{29} / R_{15}) \times 1 / k_1 I_1$$

Darin bedeutet  $I$  der erfaßte Stromfluß, welcher, wie zuvor ausgeführt, in dem Leistung verbrauchenden System fließt. Es ist daher ersichtlich, daß das Flußfeld  $B$  direkt proportional dem erfaßten Eingangsstrom  $I$  ist, welcher durch den Widerstand 13 fließt und umgekehrt proportional ist der Amplitude der Stromstärke  $I_1$ , welche von der ersten Stromquelle 27 erzeugt wird.

Ein zweites Halleffektelement 33 ist ebenfalls in dem von der

Spule 21 erzeugten Flußweg angeordnet. Diese Halleffektelemente 23 und 33 sind in der bevorzugten Ausführungsform voneinander durch eine Oxydisolation isoliert, oder sie können mechanisch voneinander getrennt sein, um eine bessere Isolation zwischen Eingang und Ausgang zu erhalten. Durch Verwendung von bekannten integrierten Schaltungsmethoden können jedoch beide Halleffektelemente eng benachbart zueinander angeordnet und trotzdem elektrisch isoliert voneinander werden, so daß nur ein sehr geringer Raum von diesen Elementen benötigt wird. Vorzugsweise sollte die Eigenkennlinie der Halleffektelemente 23 und 33 identisch sein, um eine leichte Eichung des Stromtransformators zu ermöglichen.

Wie dargestellt, ist eine zweite Stromquelle 37 vorgesehen zur Erzeugung einer variablen Stromstärke  $I_2$ , welche durch das Halleffektelement 33 in einer Richtung senkrecht zu derjenigen Richtung gerichtet ist, in der das Flußfeld von der Spule 21 das Element durchsetzt. Daher wird am Ausgang des Halleffektelementes 33 eine Spannung  $V_{OP}$  erzeugt, welche direkt proportional dem Produkt der Stromstärke  $I_2$  und dem von der Spule 21 erzeugten Flußfeld ist. Diese Ausgangsspannung kann wie folgt ausgedrückt werden:

$$(5) \quad V_{OP} = k_2 B I_2$$

wobei  $k_2$  die Proportionalitätskonstante für das Halleffektelement 33 für das es durchsetzende Flußfeld  $B$  ist.

Da die Halleffektelemente benachbart zueinander auf dem gleichen Halbleiterplättchen befindlich sind und vorzugsweise einen Abstand von etwa 0,025 cm (etwa 0,01 Zoll) besitzen, ist es offensichtlich, daß die beiden Einrichtungen nahezu identisch ausgeführt werden können. D.h. die Proportionalitätskonstanten der beiden Elemente können als praktisch gleich betrachtet werden. Demgemäß gilt:

$$(6) \quad k_1 = k_2$$

Aus den Gleichungen (4), (5) und (6) ist ersichtlich, daß die Ausgangsspannung wie folgt ausgedrückt werden kann:

$$(7) \quad V_{OP} = \left( \frac{R_{29}}{R_{15}} \frac{I_2}{I_1} R_{13} \right) I = GI$$

Darin bedeutet G der Verstärkungsgrad für das System des Stromtransformators und I ist der erfaßte Strom in dem Leistung verbrauchenden System. Es ist daher ersichtlich, daß die Spannung  $V_{OP}$  direkt proportional dem erfaßten Eingangsstrom I ist, welcher durch den Widerstand 13 fließt, und daß der Verstärkungsgrad G direkt proportional der Amplitude des Stroms  $I_2$  und umgekehrt proportional der Stromstärke  $I_1$  ist. Es ist daher ersichtlich, daß der Verstärkungsgrad des Stromtransformators der Figur 1 leicht gesteuert werden kann durch Variation der Größen  $I_2$ ,  $I_1$  oder auch der Größe  $R_{15}$  und  $R_{29}$ . Wenn der Stromtransformator in einem Kilowattstunden-Zähler verwendet wird, wie dies unter Bezugnahme auf Figur 3 beschrieben wird, wird entweder  $I_1$  oder  $I_2$  als Funktion des Eingangsstroms I variiert, während die andere Stromstärke ( $I_1$  oder  $I_2$ ) konstant gemacht wird.

Aus dem Vorstehenden ist ersichtlich, daß die Ausgangsspannung  $V_{OP}$  praktisch unabhängig von irgendwelchen Nicht-Linearitäten ist, welche in dem System bestehen können, und Umgebungsbedingungen, wie Änderungen der Temperatur und der Feuchtigkeit praktisch vernachlässigt werden können, da der Rechenverstärker, die Halleffektelemente und die Widerstände  $R_{15}$  und  $R_{29}$  durch richtige Konstruktion und Bearbeitung auf dem gleichen monolithischen Halbleiterplättchen untergebracht werden können. Es ist daher ersichtlich, daß durch die vorliegende Erfindung ein in hohem Maße genauer, wirkungsvoller und temperaturstabiler elektronischer Stromtransformator mit variablem Verstärkungsgrad geschaffen wird.

In Bereichen, in denen batteriebetriebene Netzteile nicht leicht verfügbar sind, kann die Leistung zum Antrieb des Rechenverstärkers 19 von Eingangsanschlüssen 12 erhalten werden, welche über die Leitungen geschaltet sind, die mit dem Herstellungsbetrieb oder dem Haushaltssystem verbunden sind. Diese Spannung

wird durch einen Transformator 41 abwärts transformiert und in geeigneter Weise gleichgerichtet und geregelt mit Hilfe einer konventionellen Gleichrichterschaltung 43. Daher kann der Stromtransformator nach der vorliegenden Erfindung in sich abgeschlossenen betriebsbereit sein, wenn er im Außendienst verwendet wird.

Es ergibt sich daher zusammengefaßt ein elektronischer Stromtransformator mit variablem Verstärkungsgrad, welcher zwei Silizium-Hallelemente als Einrichtungen mit variablem Verstärkungsgrad auf den gleichen Siliziumplättchen in einer Rückkopplungsanordnung verwendet, so daß die Nicht-Linearität und Temperatur und andere Effekte, welche normalerweise auftreten, praktisch kompensiert werden infolge des hohen Verstärkungsgrades des Rechenverstärkers in der Rückkopplungsschleife und durch die Tatsache, daß die benachbarten Halleffektelemente fast identische Kennlinien besitzen. Es ist weiterhin ersichtlich, daß die Ausgangsspannung  $V_{OP}$  in unmittelbarer Beziehung zu der vom Widerstand 13 erfaßten Stromstärke steht. Weiterhin kann die Ausgangsspannung  $V_{OP}$  leicht durch ein äußeres Gleichspannungssteuersignal verändert werden, beispielsweise durch  $I_1$  oder  $I_2$ . In der Anordnung nach Figur 3 können die Größen  $I_1$  und  $I_2$  als intern erzeugt betrachtet werden, wobei eine der beiden Größen als Funktion des Eingangsstroms  $I$  erzeugt wird und die andere konstant ist. In der Praxis wurde gefunden, daß die Genauigkeit des Umsetzungsverhältnisses oder Transformatorverhältnisses und des Phasenwinkels besser als 0,1 % war und der dynamische Bereich des Stromtransformators bis zu 200 : 1 betragen kann.

Die vorliegende Erfindung kann in den verschiedensten Anwendungsbereichen benutzt werden, in denen Stromtransformatoren benötigt werden. Eine bevorzugte Anwendung der Erfindung ist in Verbindung mit einem Wattstundenwandler, wie er in der US-Patentschrift 3 875 509 beschrieben wird. In Figur 3 ist ein solcher Wattstundenzähler schematisch dargestellt. In der vereinfachten Schaltungszeichnung nach Figur 3 führen die drei Kraftleitungen 301, 302 und 303 eines Dreiphasensystems für 60 Hz momentane Leitungsströme  $i_1$ ,  $i_2$  und  $i_3$  zu einem elektrischen Mehrphasenverbraucher

in Dreieckschaltung. Über den drei Zweigen des elektrischen Verbrauchers werden drei momentane Spannungen  $v_{12}$ ,  $v_{32}$  und  $v_{31}$  zwischen den Leitern aufgeprägt. Zwei Potentialtransformatoren  $PT_{12}$  und  $PT_{32}$  sind elektrisch mit den Übertragungsleitungen 301, 302 und 303 gemäß der Abbildung verbunden. Weiterhin sind zwei elektronische Stromtransformatoren  $CT_1$  und  $CT_3$  des im Zusammenhang mit Figur 1 beschriebenen Typs mit der Übertragungsleitung 301 bzw. 303 gekoppelt.

Die Transformatoren  $CT_1$  und  $CT_3$  sind so angeordnet, daß sie bei einem Anstieg des Eingangsstroms  $i_1$  oder  $i_3$  (äquivalent zu  $I$  der Figur 1) einen abnehmenden Verstärkungsgrad ( $G$ ) ergeben. Dies wird dadurch erreicht, daß sich der entsprechende Strom  $I_1$  (ausgedrückt in der Bezeichnungsweise der Figur 1) direkt proportional zum Eingangsstrom ( $i_1$  oder  $i_3$ ) ändert oder der entsprechende Strom  $I_2$  (ausgedrückt in der Bezeichnungsweise der Figur 1) umgekehrt proportional zum Eingangsstrom ( $i_1$  oder  $i_3$ ) sich ändert. Hierzu wird noch auf die Gleichung (7) und auf das Ende der Beschreibung der Figur 1 verwiesen.

Wie dargestellt, sind die Ausgangsseiten der Potentialtransformatoren  $PT_{12}$  und  $PT_{32}$  ebenfalls noch mit den elektronischen Stromtransformatoren  $CT_1$  und  $CT_3$  gekoppelt, um eine Netzversorgung zur Speisung des in Figur 1 abgebildeten Rechenverstärkers 19 zu erhalten. Die vorgenannten Meßtransformatoren sind mit den Übertragungsleitungen gemäß der Lehre des bekannten Theorems von Blondel gekoppelt. Daher wurde die Leitung 32 willkürlich als Massepunkt oder Masseleitung ausgewählt zur Durchführung der Leistungs- und Energiemessung gemäß dem vorgenannten Theorem. Der elektronische Stromtransformator  $CT_1$  liefert ein ausgangseitiges Analogsignal  $\propto i_1$ , das repräsentativ ist für den momentanen Leitungsstrom  $i_1$ .

Hierzu ist anzumerken, daß die Ausdrücke "repräsentativ" oder "proportional" richtig sind, wenn man das Merkmal des variablen Verstärkungsgrades der Transformatoren  $CT_1$  und  $CT_3$  vernachlässigt. Dieser Gesichtspunkt wird noch am Ende der Beschreibung der

Figur 3 erläutert. Es sei hierzu nur angemerkt, daß die Signale  $i_1$  und  $i_2$  in Wirklichkeit dem Signal  $V_{OP}$  der Figur 1 entsprechen.

Der elektronische Stromtransformator  $CT_3$  liefert ein ausgangsseitiges Analogsignal  $i_3$ , welche repräsentativ ist für den momentanen Leitungsstrom  $i_3$ . Der Potentialtransformator  $PT_{12}$  liefert ein analoges Ausgangssignal  $v_{12}$ , welches repräsentativ ist für die momentane Leitungsspannung  $v_{12}$ . Der Potentialtransformator  $PT_{32}$  liefert ein ausgangsseitiges Analogsignal  $v_{32}$ , das repräsentativ ist für die momentane Leitungsspannung  $v_{32}$ . Die Analogsignale entsprechend  $i_1$  und  $v_{12}$  werden den Eingang eines Multiplikators  $M_{12}$  zugeführt. In ähnlicher Weise werden die Analogsignale entsprechend  $i_3$  und  $v_{32}$  dem Eingang eines anderen Multiplikators  $M_{32}$  zugeführt. Der Multiplikator  $M_{12}$  multipliziert in der Endauswirkung die Signale entsprechend  $i_1$  und  $v_{12}$  und erzeugt am Ausgang des Multiplikators ein Signal  $v_{z12}$ , welches proportional ist dem Produkt  $P_{12} = i_1 v_{12}$ . Der Multiplikator  $M_{32}$  multipliziert die Signale entsprechend  $i_3$  und  $v_{32}$  und erzeugt am Ausgang des Multiplikators ein anderes Signal  $v_{z32}$ , welches proportional dem Produkt  $P_{32} = i_3 v_{32}$  ist. Auch hier sind die Ausdrücke proportional gemäß der vorstehenden Anmerkung zu verstehen. Wie in Figur 3 angedeutet, werden die Ausgangssignale  $v_{z12}$  und  $v_{z32}$ , welche Momentanwerte der Teilleistung  $P_{12}$  und  $P_{32}$  darstellen, in einem Tiefpaßfilter 305 summiert, welches ein anderes Signal liefert, das den Momentanwert der Gesamtleistung  $p$  des Systems darstellt, wobei gilt

$$(9) \quad p = i_1 v_{12} + i_3 v_{32}$$

Das Zählprinzip, welches in diesem Anschauungsbeispiel verwendet wird, beruht auf der Verwendung des Blondelschen Theorems, welches eine Leistungsmessung, beispielsweise in einem elektrischen System mit drei Phasen gestattet, jedoch nur zwei Multiplikationskanäle verwendet. Gemäß dem Theorem kann die Leistung in einem System mit  $N$ -Leitungen gemessen werden mit einer Anzahl von  $(N-1)$ -Watt-



meterelementen, die so angeordnet sind, daß jede der (N-1)-Leitungen ein Strommeßelement mit einem entsprechenden Potentialmeßelement enthält, welche zwischen jede der Leitungen und einen Massepunkt geschaltet sind. Für den Fall, daß der Massepunkt zufällig eine der Leitungen ist (beispielsweise die Leitung 302 in der Figur 3), kann die Leistung durch (N-1)-Elemente gemessen werden. Daher ergibt sich in dem Dreileitersystem nach Figur 3 die dem Verbraucher zugeführte gesamte momentane Leistung p zu:

$$(10) \quad p = i_1 v_{12} + i_3 v_{32} = p_{12} + p_{32} ,$$

wobei  $v_{12}$  und  $v_{32}$  die momentanen Leitungsspannungen und  $i_1$  und  $i_3$  die momentanen Leitungsströme sind. Ebenso sind  $p_{12}$  und  $p_{32}$  Momentanwerte für die Teilleistungen.

In Figur 3 werden die Signale  $v_{z12}$  und  $v_{z32}$ , welche jeweils die vorgenannten Teilleistungen  $p_{12}$  und  $p_{32}$  darstellen, jeweils dem Eingang eines summierenden Tiefpaßfilters 305 zugeführt. Das Filter 305 summiert oder integriert die vorgenannten Signale für die Teilleistungen  $p_{12}$  und  $p_{32}$  und bildet deren Mittelwert, um am Ausgang des Filters ein Signal  $V_F$  proportional zum Mittelwert der aktiven Gesamtleistung P des Systems zu bilden. In der Endauswirkung führt das Filter 305 die folgenden Integrations- und Mittelwertbildungsvorgänge gemäß der folgenden Beziehung aus:

$$(11) \quad P = \frac{1}{T} \int_0^T i_1 v_{12} dt + \frac{1}{T} \int_0^T i_3 v_{32} dt$$

oder

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p_{12} dt + \frac{1}{T} \int_0^T p_{32} dt ,$$

wobei bedeutet

$$P_{12} = \frac{1}{T} \int_0^T p_{12} dt \quad \text{und}$$

$$P_{32} = \frac{1}{T} \int_0^T p_{32} dt$$

Daher gilt:

$$(12) \quad P = P_{12} + P_{32} ,$$

wobei  $P_{12}$  und  $P_{32}$  die Mittelwerte der Teilleistungen und  $P$  der Mittelwert der Gesamtleistung ist.

Es kann auch noch gezeigt werden, daß der Mittelwert der aktiven Mehrphasenleistung  $P$  ist:

$$(13) \quad P = \sqrt{3} \quad V I \cos \theta ,$$

wobei  $V$  den Effektivwert der Leitungsspannung und  $I$  den Effektivwert des Leitungsstroms darstellt.  $P$  stellt den wahren Mittelwert der aktiven Leistung in einem Mehrphasenverbraucher dar und  $\theta$  ist der Phasenwinkel.

Das Ausgangssignal  $V_F$  am Ausgang des Filters 305 wird, wie in Figur 3 gezeigt, dem Eingang eines Wandlers 306 für die Umwandlung von Analogwerten in Impulsfolgefrequenz zugeführt, welcher das Signal  $V_F$  (dieses ist proportional  $P$ ) in die Energie des Systems  $W$  gemäß folgender Beziehung umwandelt:

$$(14) \quad W = \int_0^T P dt$$

Wenn jedoch die Zeitdauer  $T = T_F$  (d.h. die angezeigte Integration geschieht in dem Konverter für die Umwandlung von Analogwerten in Impulsfolgefrequenz 306 während einer endlichen Zeitdauer  $T_F$ ), dann wird die Energie zu einer Größe  $W$  in dem Konverter gemäß der folgenden Beziehung aufgespeichert:

609841/0848

$$(15) \quad W = \int_0^{T_F} P \, dt$$

und es wird dann ein Ausgangssignalimpuls  $V_o$  am Ausgang des Konverters 306 abgegeben, welcher eine vorgegebene Größe der elektrischen Energie  $W$  darstellt. Beispielsweise ist in der bestimmten abgebildeten Ausführungsform jeder Ausgangssignalimpuls  $V_o$  repräsentativ für die quantisierte elektrische Energie  $W = 1,2$  Wattstunden (Wh). Daher liefert der Konverter 306 für die Umwandlung von Analogwerten in Impulsfolgefrequenz eine Folge von Impulsen  $V_o$  an seinem Ausgang, wobei die angesammelte Anzahl von Ausgangsimpulsen  $V_o$  die gesamte elektrische Energie  $W$  des Systems darstellt. Wie bereits zuvor erwähnt, besitzt die Folge von Impulsen  $V_o$  eine variable Impulsfolgefrequenz  $f$ , welche proportional ist dem Mittelwert der Gesamtleistung  $P$  des Systems.

Wie in Figur 3 gezeigt, werden die Ausgangsimpulse  $V_o$  dem Eingang eines Impulsverstärkers 307 zugeführt, dessen verstärktes Ausgangssignal einen Schrittschaltmotor SM antreibt. Der Schrittschaltmotor SM seinerseits betätigt einen elektromechanischen Kilowattstunden-Anzeigezähler 308, welcher in Dezimalziffern die angesammelte Energie in Kilowattstunden anzeigt. In Figur 3 sind ein konventioneller Schrittschaltmotor SM und ein elektromechanischer Zähler 308 dargestellt; der Schrittschaltmotor SM und der Zähler 308 sind jedoch nur als Beispiel gezeigt. Der elektrische Energiezähler gemäß der vorliegenden Erfindung kann statt des vorgenannten Schrittschaltmotors und des elektromechanischen Zählers eine Anzeige mit Flüssigkristall oder lichtabgebenden Dioden verwenden, die in geeigneter Weise mit einem nicht-selbstlöschenden elektronischen Speicherelement gekoppelt und von einer logischen Schaltung gespeist werden können. Der Wattstundenzähler nach Figur 3 erfordert einen Konverter für die Umwandlung von Analogwerten in Impulsfolgefrequenz, welcher einen breiten dynamischen Bereich besitzt und weiterhin eine Langzeitstabilität und einen äußerst niedrigen Umwandlungsfehler besitzt. Ein solcher Umwandler von Analogwerten in Impulsfolgefrequenz, wie in der vorliegenden Anmeldung offenbart, ergibt

nicht nur die vorgenannten Merkmale, sondern er ist auch wegen der verwendeten monolithischen Schaltung kompakt und erfordert sehr wenig Leistung wegen der Benutzung von festkörper-komplementären Metalloxyd-Siliziumschaltungen.

Wie zuvor angedeutet, besitzen die Stromtransformatoren  $CT_1$  und  $CT_3$  eine solche Kennlinie, daß mit Verminderung des jeweils erfaßten Stroms  $i_1$  oder  $i_3$  (in der Bezeichnungsweise der Figur 1 I) der Verstärkungsgrad des entsprechenden Stromtransformators  $CT_1$  oder  $CT_3$  ansteigt. Ein solches Verhalten mit automatischer Steuerung des Verstärkungsgrades (AGC) kann leicht verwirklicht werden, beispielsweise dadurch, daß in dem entsprechenden Stromtransformator ( $CT_1$  oder  $CT_3$ ) die Spannung  $V_{in}$  (Figur 1) dazu benutzt wird, die Größe  $I_1$  (Figur 1) als lineare Funktion von  $V_{in}$  oder die Größe  $I_2$  (Figur 1) als inverse Funktion von  $V_{in}$  zu erzeugen; es wird daran erinnert, daß  $V_{in}$  proportional  $I$  ist.

Dieses Merkmal der automatischen Steuerung des Verstärkungsgrades (AGC) macht die Erzeugung eines zweiten kompensierenden Merkmals erforderlich, denn sonst würde die Eichung des Kilowattstunden-Zählers nach Figur 3 gestört. In anderen Worten sollte das System nach Figur 3 den gleichen Verstärkungsfaktor für die gesamten beabsichtigten Bereiche der Ströme  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$  und Spannungen  $v_{12}$ ,  $v_{32}$  und  $v_{31}$  besitzen. Um ein solches kompensierendes Merkmal zu erhalten, kann die jeweilige Spannung  $V_{in}$  (von jedem Stromtransformator) weiterhin benutzt werden, um ein nicht-gezeigtes Abschwächungsglied oder Dämpfungsglied zu betätigen, welches die entsprechende Eingangsspannung ( $\beta v_{12}$  oder  $\beta v_{32}$ ) zum Multiplikator ( $M_{12}$  oder  $M_{32}$ ) als inverse Funktion des jeweiligen Potentials  $V_{in}$  (Figur 1) einstellt.

Die soeben beschriebene Konzeption kann leicht in einem Einphasen-System verwendet werden. Für diesen Zweck müssen lediglich alle Signale und Funktionsblöcke weggelassen betrachtet werden, welche den Index 3 oder die 3 als einen Teil ihres Indexes besitzen ( $i_3$ ,  $v_{32}$ ,  $CT_3$ ,  $M_{32}$  usw.). In einem solchen Einphasen-Fall kann das im vorstehenden Abschnitt erwähnte Dämpfungsglied am

Ausgang des Filters 305 angeordnet werden. In einem solchen Falle kann das Eingangssignal zum Konverter 306 anstelle der Eingangsgröße  $\beta V_{12}$  als inverse Funktion der Spannung  $V_{in}$  (nach Figur 1) verändert werden.

Patentansprüche

1. Elektronischer Stromtransformator mit variablem Verstärkungsgrad, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß er umfaßt:  
Einrichtungen (13) zur Erfassung der Amplitude eines Wechselstromflusses durch eine stromführende Leitung,  
einen Rechenverstärker (19) zur Verstärkung dieser erfaßten Stromstärke, eine erste und zweite Stromquelle (27, 37), wobei mindestens eine der beiden Stromquellen variabel ist,  
Einrichtungen (23), welche auf die Ausgangssignale der ersten Stromquelle und des Verstärkers (19) ansprechen zur Erzeugung einer Rückkopplungsspannung mit einer Amplitude proportional zum Produkt des Ausgangs der ersten Stromquelle und des Ausgangs des Verstärkers, wobei diese Rückkopplungsspannung auf den Eingang (17) des Rechenverstärkers (19) gekoppelt ist,  
und Einrichtungen (33), welche auf die Ausgangssignale des Rechenverstärkers (19) und der zweiten Stromquelle (37) ansprechen zur Erzeugung der Ausgangsspannung ( $V_{Op}$ ) des Stromtransformators, wobei diese Ausgangsspannung proportional zum erfaßten Strom ist und in Abhängigkeit vom Strom der variablen Quelle variabel ist.
2. Elektronischer Stromtransformator mit variablem Verstärkungsgrad nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die erste Stromquelle (27) variabel ist, wodurch die Transformatorausgangsspannung umgekehrt mit der Stromstärke der ersten variablen Quelle variabel ist.
3. Elektronischer Stromtransformator mit variablem Verstärkungsgrad nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die zweite Stromquelle (37) variabel ist, wodurch die Transformatorausgangsspannung direkt variabel ist mit der Stromstärke der zweiten variablen Quelle.

4. Elektronischer Stromtransformator mit variablem Verstärkungsgrad nach einem der Ansprüche 1, 2 oder 3, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die Einrichtung zur Erzeugung einer Rückkopplungsspannung eine Halleffekteinrichtung (23) enthält und Einrichtungen (21, 24) zur Umwandlung des Ausgangssignals des Rechenverstärkers (19) in ein Flußfeld mit einer Amplitude (B) proportional zum Ausgangssignal des Rechenverstärkers, wobei das Flußfeld durch eine erste Ebene des Halleffektelementes (23) gerichtet ist und das Ausgangssignal der ersten Stromquelle (27) durch eine zweite orthogonale Ebene des Halleffektelementes gerichtet ist, wobei die Ausgangsspannung des Halleffektelementes die Rückkopplungsspannung darstellt.
5. Elektronischer Stromtransformator mit variablem Verstärkungsgrad nach Anspruch 4, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die Ausgangsspannungs-Erzeugereinrichtung ein zweites Halleffektelement (33) umfaßt, wobei das vom Ausgangssignal des Rechenverstärkers (19) erzeugte magnetische Feld durch eine erste Ebene dieses zweiten Halleffektelementes gerichtet ist und der Ausgang der zweiten Stromquelle (37) durch eine zweite orthogonale Ebene des zweiten Halleffektelementes gerichtet ist, wobei der Ausgang des zweiten Halleffektelementes (33) die Ausgangsspannung ( $V_{OP}$ ) des Stromtransformators nach Anspruch 1 darstellt.
6. Elektronischer Stromtransformator mit variablem Verstärkungsgrad nach Anspruch 5, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die Halleffektelemente (23, 33) praktisch identisch sind und auf dem gleichen Halbleiterplättchen gebildet sind, wobei ihre jeweiligen ersten Ebenen praktisch in gleicher Ebene liegen.
7. Elektronischer Stromtransformator mit variablem Verstärkungsgrad nach Anspruch 6, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die Einrichtung (21, 24) zur Umwandlung in ein Flußfeld nach Anspruch 4 einen ferromagnetischen Stab (24) mit einer nicht vollständig, jedoch nahezu ge-

schlossenen Gestalt umfaßt, so daß zwei einander gegenüberliegende freie Enden durch einen relativ kleinen Luftspalt getrennt sind, sowie eine Wicklung (21), die toroidförmig um den ferromagnetischen Stab gewickelt ist, wobei die Wicklung mit dem Ausgang des Rechenverstärkers (19) verbunden ist zur Erzeugung des Flußfeldes von einem freien Ende zum anderen freien Ende durch den Luftspalt, wobei das Flußfeld eine Intensität besitzt, die gemäß dem Ausgangssignal des Rechenverstärkers variabel ist, und die Hallelemente (23, 33) in dem Luftspalt so angeordnet sind, daß das Flußfeld die vorgenannten praktisch koplanaren ersten Ebenen der beiden Hallelemente praktisch senkrecht durchsetzt.

8. Elektronsicher Stromtransformator mit variablem Verstärkungsgrad nach einem der Ansprüche 1 bis 7, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die variable Stromquelle einen Strom liefert, der als Funktion des erfaßten Stroms nach Anspruch 1 variabel ist, wobei die Abhängigkeit so gewählt ist, daß mit Erhöhung der Amplitude des erfaßten Stroms der Verstärkungsgrad des Transformators abnimmt und umgekehrt.
9. Gerät zur Erzeugung eines Signals als Anzeige für die verbrauchte Energie in einem Wechselstromleistung verbrauchenden Verbraucher, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß es enthält:
  - (a) einen Stromtransformator ( $CT_1$ ,  $CT_3$ ), der an seiner Eingangsseite Einrichtungen (13) zur Erfassung des in eine Leitung zum Verbraucher fließenden Leitungsstroms enthält und an seinem Ausgang ein analoges Stromstärkesignal liefert, das in Beziehung zu dem erfaßten Leitungsstrom steht, und weiterhin die folgenden Bauteile enthalten sind:
  - (b) eine Einrichtung ( $PT_{12}$ ,  $PT_{32}$ ) zur Erfassung der dem Verbraucher zugeführten Spannung und zur Erzeugung eines Ausgangssignals als ein analoges Spannungssignal, welches in Beziehung zu der erfaßten Spannung steht,
  - (c) einen Analogmultiplikator ( $M_{12}$ ,  $M_{32}$ ), der auf der Basis von Momentanwerten das Stromstärke-Analogsignal mit dem Span-



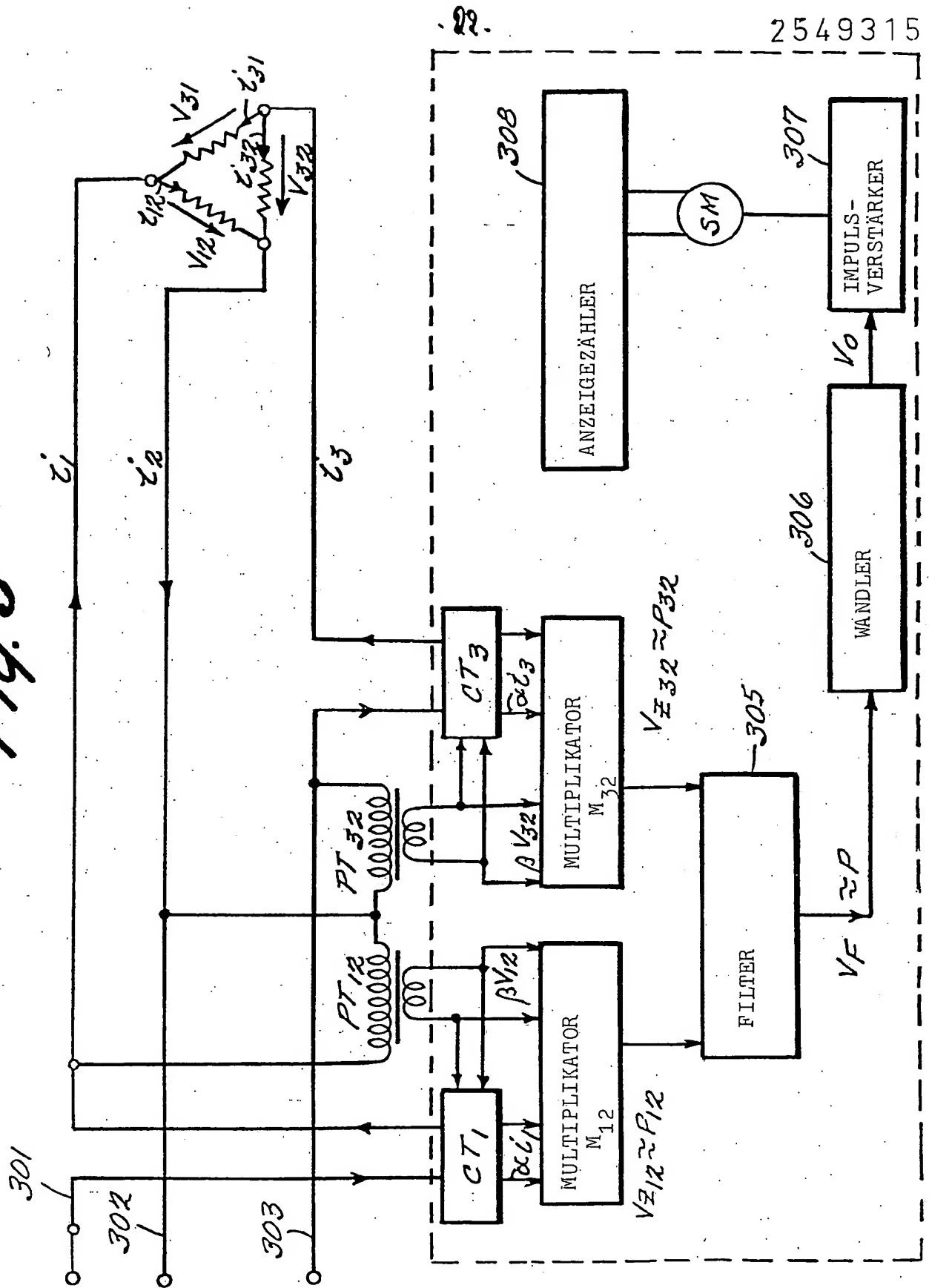
nungsanalogsignal multipliziert und demzufolge ein ausgangsseitiges Leistungsanalogsignal liefert, und

(d) ein Tiefpaßfilter (305) zur Filterung des Leistungsanalogsignals ( $v_{z12}$ ,  $v_{z32}$ ) zur Erzeugung eines Ausgangssignals (P) zur Anzeige für die verbrauchte Leistung, wobei der Stromtransformator ( $CT_1$ ,  $CT_3$ ) ein Stromtransformator nach Anspruch 8 ist und noch eine Einrichtung vorgesehen ist, um das von einem der vorgenannten zusätzlichen Bauteile gelieferte Signal als inverse Funktion des erfaßten Leitungsstroms zu ändern.

10. Gerät nach Anspruch 9, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die Änderungseinrichtung nach Anspruch 9 das Ausgangssignal der Tiefpaßfiltereinrichtung (305) als umgekehrte Funktion des erfaßten Leitungsstroms ändert.
11. Gerät mit einer Vielzahl von Anordnungen nach Anspruch 9 zur Erzeugung eines Signals für die Anzeige der Gesamtleistung, die in einem Leistung verbrauchenden Verbrauchersystem mit n-Phasen verbraucht wird (wobei n mindestens 3 beträgt), und die Vielzahl der Anordnungen gleich n-1 ist, so daß das Tiefpaßfilter gemeinsam für die n-1-Phasen vorgesehen ist und neben der Filterfunktion noch eine Summierungsfunktion ausführt und demgemäß als Ausgangssignal ein Signal zur Anzeige der Gesamtwattleistung liefert, wobei neben der gemeinsamen Tiefpaßfiltereinrichtung (305) für jede der n-1-Phasen eine einzelne Vorrichtung nach Anspruch 9 vorgesehen ist, die jeweils eine einzelne Änderungseinrichtung nach Anspruch 9 enthält und jeweils eine einzeln variable Stromquelle nach Anspruch 8 enthält.
12. Gerät nach einem der Ansprüche 9, 10 oder 11, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß es weiterhin eine Einrichtung (306) zur Umwandlung des Signals für die Wattleistung in eine Impulsfolge mit einer Impulsfolgefrequenz besitzt, welche in Beziehung zu dem Signal für die Wattleistung steht, und Einrichtungen (308) zur kumulativen Aufzählung der Anzahl von Impulsen in dieser Impulsfolge enthält, wobei die kumulativ gezählte Zahl die vom Verbraucher verzehrte aktive elektrische Energie darstellt.



Fig. 3



23.

Fig. 1

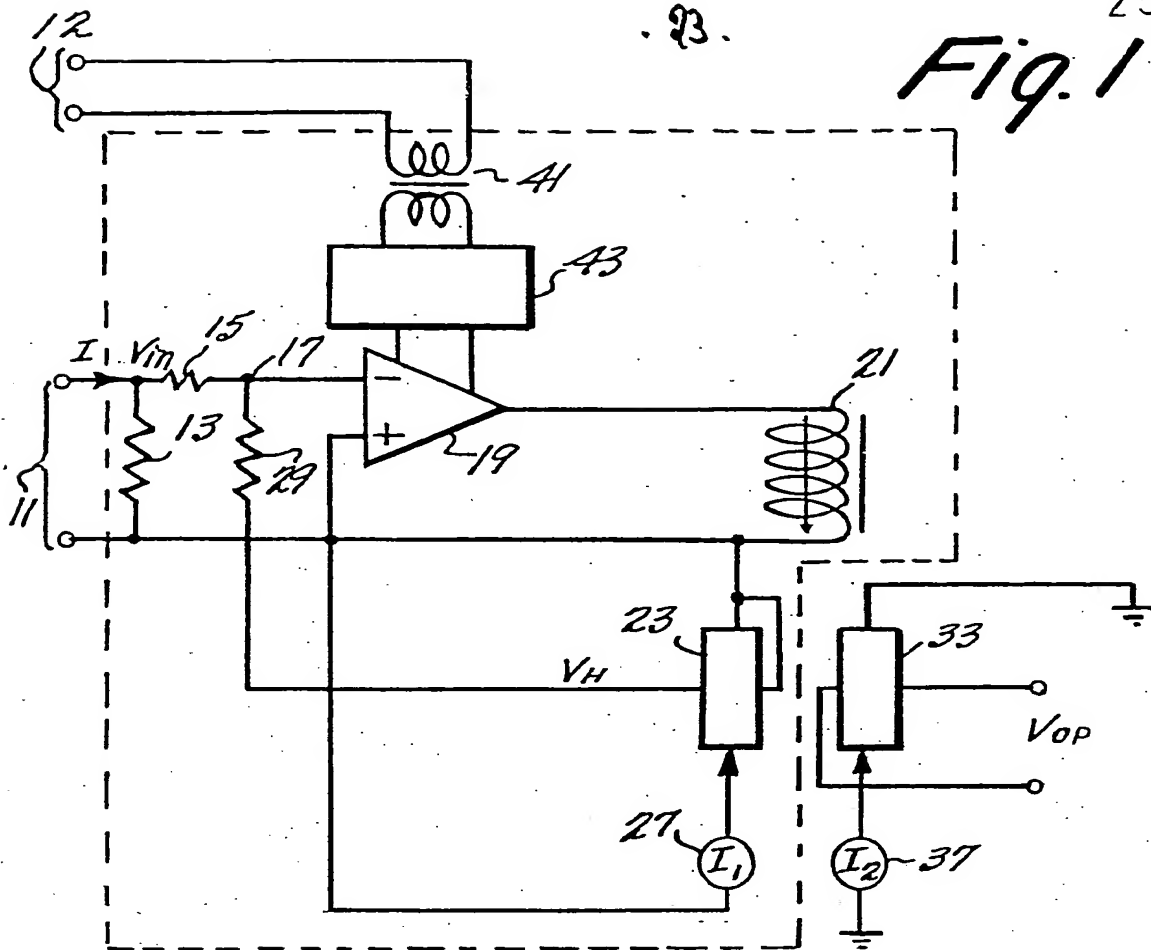
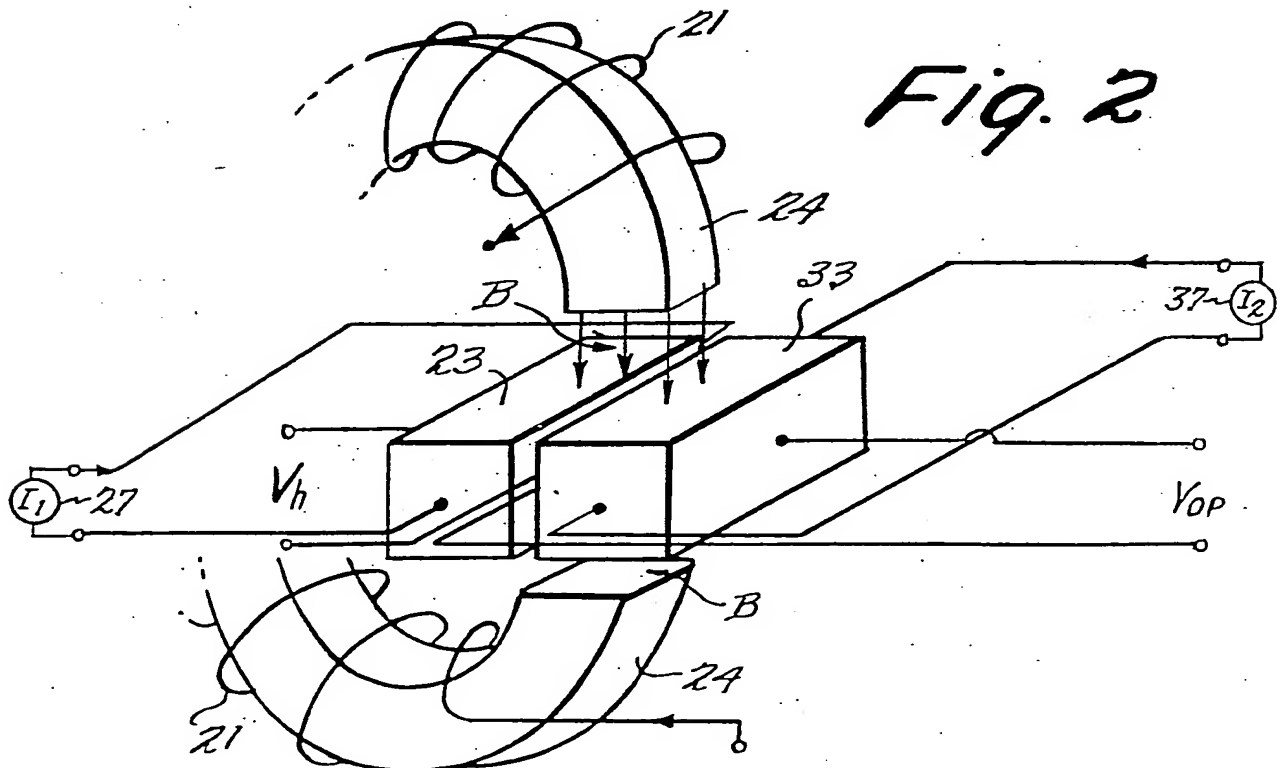


Fig. 2



609841/0848